Aus der Orthopädischen Klinik München, Harlachinger Straße

Direktor: Prof. Dr. med. A. N. Witt

Zerreiß- und Druckprüfungen an der Kniescheibe

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde in der Zahnheilkunde

verfaßt und einer Hohen Medizinischen Fakultät

der Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Manfred Fischer

aus

Zwiesel

1970

1971

Aus der Orthopädischen Klinik München, Harlachinger Straße

Direktor: Prof. Dr. med. A. N. Witt

Zerreiß- und Druckprüfungen an der Kniescheibe

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde in der Zahnheilkunde

verfaßt und einer Hohen Medizinischen Fakultät

der Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Manfred Fischer

aus

Zwiesel

1970

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der

Universität München

Berichterstatter:	Prof. Dr. med. K. Viernstein
Mitberichterstatter:	Prof. Dr. med. A. N. Witt
Dekan:	Prof. Dr. W. Spann
Tag der mündlichen Prüfung:	9. 2. 1971

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546001_0038

Arch. orthop. Unfall-Chir. 70, 261—274 (1971)
© by J. F. Bergmann München 1971

Zerreiß- und Druckprüfungen an der Kniescheibe

Manfred Fischer

Orthopädische Klinik München, Harlachinger Straße (Direktor: Prof. Dr. med. A. N. Witt)

Eingegangen am 26. März 1971

Summary. The tension tests prove that transversal fractures, fractures due to a tearing apart of the tendons, and other rents will not occur due to a merely linear diverging tractive power. In any case the tendons will be torn first (fibrous). When in the works of Rubner and Senst and Nowak transversal fractures are mentioned, in all those cases the knee-joint was probably in a middle bending position (130°). In this position there is not only a tensile stress on the patella whose middle ridge only rests upon the condylus, but first of all a stress due to bending, stretching and pressure; an effect which corresponds to the breaking of a stick on the knee. These 3 components of physical force extensively account for those transversal ruptures.

Further it must be stated that transversal ruptures or fractures due to a tearing apart of the tendons are not be expected even in case of contraction of the M. quadriceps when the knee is stretched (linear diverging power), unless the patella is already injured.

Résumé. Les tests de déchirement témoignent que les ruptures transversales, les ruptures causées par une distraction ou d'autres ruptures n'ont pas lieu à cause des forces de traction qui divergent purement de manière linéaire. En tout cas, ce sont d'abord les tendons qui se déchirent (fibreux). Si Rubner et Senst et Nowak dans leurs œuvres parlent de ruptures transversales, c'est que probablement dans ces cas l'articulation du genou était en mi-flexion (à 130°). Dans cette position la rotule qui ne repose sur le condylus qu'avec l'aine centrale n'est pas seulement soumise à une traction, mais surtout à une flexion, une extension et une pression; une action qui correspond au cassement d'un bâton sur le genou. Ces 3 composantes de force expliquent vastement les ruptures transversales.

En plus, il faut constater que des ruptures transversales ou des ruptures causées par une distraction de la patella méme en cas d'une contraction du M. quadriceps, le genou étant étendu (forces de traction qui divergent de manière), ne sont pas vraisemblables, à moins que la rotule n'ait déjà subi une lésion.

Zusammenfassung. Die *Zerreißprüfungen* zeigen, daß Querrupturen, Abrißfrakturen oder sonstige Risse auf Grund reiner linear auseinander gerichteter Zugkräfte nicht zustande kommen. In jedem Falle reißen zuerst die Sehnen (faserig). Wenn man in der Literatur bei Rubner und Senst u. Nowak von Querrupturen liest, so dürfte sich das Kniegelenk bei diesen Querrupturen in mittlerer Beugestellung (130°) befunden haben. In dieser Stellung wird die Kniescheibe, die nur mit dem Mittelfirst am Condylus aufliegt, nicht nur auf Zug, sondern vor allem auch auf Biegung, Dehnung und Druck beansprucht; eine Aktion, die dem Brechen eines Stabes über das Knie gleichkommt. Diese 3 Kraftkomponenten erklären weitgehend die Querrupturen.

Weiter ist festzustellen, daß Querrupturen oder Abrißfrakturen der Patella auch bei Kontraktion des M. quadriceps in Kniestreckstellung (linear auseinander gerichtete Kräfte) nicht wahrscheinlich sind, es sei denn, die Kniescheibe ist vorher bereits geschädigt.

Einleitung und Problemstellung

Zerreiß- und Druckfestigkeit — immer mehr verbinden sich diese beiden Begriffe mit dem Unfallgeschehen des heutigen Straßenverkehrs. Die zunehmende

Zahl an Verkehrsunfällen bringt es mit sich, daß Abriß- und Druckfrakturen als Verletzungsursache vermehrt hervortreten. Das exponierte Knie des sitzenden Fahrers prallt beim Zusammenstoß in Beugestellung gegen das Armaturenbrett und wird durch Druckbrüche geschädigt.

Die Sportmedizin beschäftigt sich mit ähnlichen Verletzungen. Bei Gewichthebern kann es im Augenblick der höchsten Kraftbeanspruchung des Kniegelenks zu Abrißfrakturen kommen.

Die Literatur zur Zerreiß- und Druckprüfung der Patella ist spärlich. Ob Abrißfrakturen auch bei rein linearen Zugkräften auftreten, soll mit vorliegenden Untersuchungen überprüft werden.

Morphologie

Bei der Patella wie bei jedem anderen Knochen handelt es sich um ein für die Funktion speziell durchstrukturiertes Gebilde. Bei der mechanischen Prüfung eines Materials interessiert vor allem die Struktur, um die Größe und Art des Widerstandes zu verstehen, welche der von außen einwirkenden Kraft entgegensteht.

Rein makroskopisch bildet die Kniescheibe ein ovales Viereck, das nach Schneider entwicklungsgeschichtlich durch Reibung und Druck der Quadricepssehne an der Femurvorderfläche entstanden und später in die Quadricepssehne eingedrungen ist. In ähnlichem Sinne äußert sich auch Baumgartl.

Die elliptische Gelenkfläche der Patella ist ihrer gelenkmechanischen Funktion nach cranial-caudalwärts durch einen Mittelfirst in eine tibiale und eine fibulare Artikulationsfläche aufgeteilt (Abb. 1). Auf ersterer unterscheidet man eine obere, mittlere, untere und mediale Gelenkfläche, auf der fibularen nur eine obere, mittlere und untere.

Die Patella differiert äußerlich nach Größe und Form. Wiberg unterscheidet die Kniescheibenform nach ihren axialen Abbildungen in 3 Typen. Beim Typ I sind beide Gelenkflächen annähernd gleich groß, und der First liegt in der Mitte. Beim Typ II ist die tibiale Facette kleiner als die fibulare, beide Facetten sind konkav. Beim Typ III ist die tibiale Facette noch kleiner als beim Typ II und außerdem konvex (Abb. 2). Ähnliches schreibt auch Baumgartl.

Unterscheiden sich die Kniescheiben äußerlich, so sind sie im inneren Aufbau doch alle an einen ähnlichen strukturierten Aufbau gebunden, den man mit dem „Verbundbau" vergleichen kann. Darüber berichten ausführlich Knese und Gep-

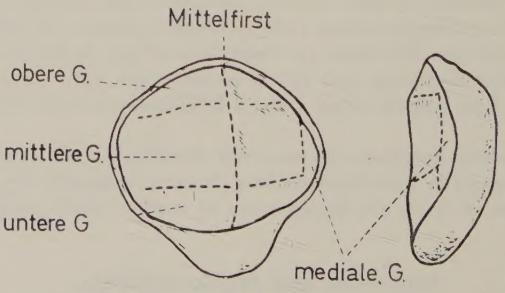

Abb. 1. Facetteneinteilung der Patellargelenkfläche. Schneider, P. G.: Die Früharthrose im Femoropatellargelenk des Leistungssportlers. Ein Beitrag zur Pathogenese degenerativer Gelenkserkrankungen. Arch. orthop. Unfall-Chir. **54**, 404, Abb. 2 (1962)

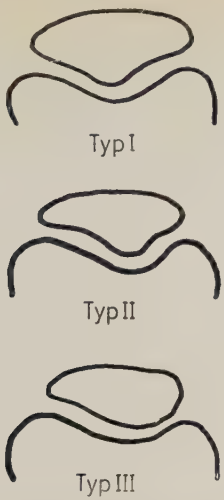

Abb. 2. Die verschiedenen Formen der Kniescheibe im axialen Bild. Baumgartl, F.: Anatomische und klinische Bedeutung des Femoropatellargelenks. Zbl. Chir. **91**, 507, Abb. 3 (1966)

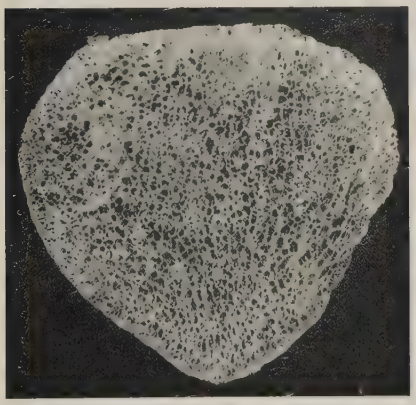

Abb. 3

Abb. 4

Abb. 3. Patellarfrontalschnitt. Triepel, H.: Die Architekturen der menschlichen Knochenspongiosa, Tafel 14, Abb. 42. Wiesbaden: Bergmann 1922

Abb. 4 Patellarsagittalschnitt. Triepel, H.: Die Architekturen der menschlichen Knochenspongiosa, Tafel 14, Abb. 41. Wiesbaden: Bergmann 1922

hard. An einem entsprechend vorpräparierten Patellarfrontal- und Sagittalschnitt (Abb. 3 u. 4) kann man die Struktur erkennen. Dazu schreibt Triepel: „Die Spongiosa der Patella besteht aus frontalgestellten, d. h. der Vorderfläche parallelen Blättern, und ferner horizontal liegenden und vertikal gestellten Gittern und Blättern. . . . Die frontalen Blätter sind in der Nähe der vorderen Fläche dicht gedrängt, die vertikalen sagittalen Gitter verlaufen am lateralen Rande diesen parallel, die

horizontalen Blätter neigen sich in der Nähe der Spitze vorn nach unten, so daß sie dem unteren Abschnitt der Gelenkfläche parallel werden."

Die Spongiosa wirkt nicht allein den Zug- und Druckkräften entgegen. Eine wichtige Rolle spielen die Knochenaufbausubstanzen. Knese sagt, „daß das Knochengewebe aus zugfesten Kollagenfasern und den druckfesten anorganischen Einlagerungen zusammengesetzt ist, daß beide Komponenten im Sinne eines Verbundbaues zusammengefügt sind." Dieser Verbundbau verleiht dem Knochen seine große Festigkeit.

Bedeutung des Femoropatellargelenkes für die Kniegelenksfunktion

Um die bei den Zerreiß- und Druckprüfungen hervorgerufenen Abrißfrakturen und Druckfrakturen verstehen zu können, muß man sich über die Funktion des Femoropatellargelenkes klar sein. Welche Aufgabe hat dieses Gelenk, und wie beeinflußt es die Kniegelenksfunktion? Dazu schreibt Baumgartl: „Das Kniegelenk besteht nicht nur aus der gelenkigen Verbindung zwischen Oberschenkel und Unterschenkel, sondern auch aus dem Gelenk zwischen Kniescheibe und Oberschenkelrollen, welches dem ersteren in einer gemeinsamen Gelenkskapsel assoziiert ist." Schneider sagt dazu: „Das Femoropatellargelenk wird von der sehr variablen Patella, der Facies patellaris des Femur und der Fossa intercondylica, die gemeinsam die Kniescheibenfurche ausmachen, gebildet. Stellungs- und Formanomalien sind seit langem bekannt. ... In Streckstellung liegt die Patella der Kniescheibengleitbahn an, und die muskuläre Führung tritt an die Stelle der knöchernen Sicherung durch die Femurkondylen. Bei Anspannung des M. quadriceps wird die Patella soweit nach cranial gezogen, daß sie nur noch mit der Spitze den cranialen Rand ihrer Gleitfurche berührt, während der größere obere Teil durch den Muskelzug von der knorpelfreien Partie des Femur abgehoben wird. ... Je mehr die Beugung fortschreitet, desto mehr sinkt die Kniescheibe zwischen die Femurkondylen."

Anders liegt die Patella bei einer schwachen Beugung des Knies von etwa 130°, wo der Mittelfirst die einzige Kontaktstelle mit dem Femurcondylus bildet. Dies ist zweifellos bei Abrißfrakturen von großer Bedeutung, während bei meinen Untersuchungen auf die Patella nur *linear auseinander* gerichtete Kräfte einwirken.

Die eigentliche Antwort auf die Frage der gelenkmechanischen Bedeutung des Femoropatellargelenkes liegt in der Kniescheibenfunktion. Baumgartl sagt: „Da das Drehmoment eines Muskels für ein Gelenk dem Produkt aus Muskelkraft und virtuellem Hebelarm entspricht, *vergrößert* die Kniescheibe die Kraftleistung des M. quadriceps ganz erheblich" (Abb. 5). Diesen Worten schließt sich Schneider an: „... d. h. die Länge des Kraftarmes wird größer und führt bei gleichem Kraftaufwand zu einer Erhöhung des gelenkmechanischen Effektes. Nach Moloney (1927) beträgt die Krafterspamis in Streckstellung 25%, bei 57° Beugung 39%, bei 95° Beugung 32% und bei 124° Beugung 34%."

Fürmaier gibt an, daß außer diesem Kraftgewinn das Femoropatellargelenk die Abnutzung des Tibiofemoralgelenkes verringert und die Belastungsfähigkeit des Knies erhöht.

Das Femoropatellargelenk hat erhebliche Bedeutung für die Kniegelenksfunktion. Dies schließt nicht aus, daß bei totaler Patellektomie wenig Beeinträchtigung der Kniegelenksfunktion vorliegt.

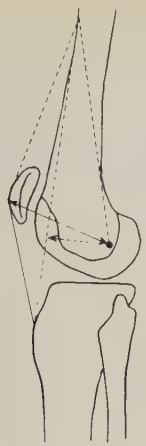

Abb. 5. Gelenksmechanische Bedeutung der Patella. Schneider, P. G.: Die Früharthrose im Femoropatellargelenk des Leistungssportlers. Ein Beitrag zur Pathogenese degenerativer Gelenkserkrankungen. Arch. orthop. Unfall-Chir. **54**, 405, Abb. 3 (1962)

Die Tatsache, daß bei normaler Belastung der Patella in Beugestellung nie reine, linear auseinander gerichtete Zugkräfte auftreten, sondern vielmehr ein Zusammentreffen von Zug-Biege-Druck-Beanspruchung, ist von der Mechanik her leicht zu verstehen. Meinen Untersuchungen entspricht „in vivo" etwa folgende Situation:

a) Patella bei angespanntem Quadriceps in Streckstellung (Zerreißprüfung),

b) Frontaler Druck auf die Kniescheibe bei ca. 130° Beugung (Druckprüfung).

Eigene Untersuchungen

Ob es möglich ist, die Patella mit Bandapparat über die Elastizitätsgrenze hinaus zu belasten (bei linear auseinander gerichteten Zugkräften), soll experimentell geprüft werden. Über Elastizität und Festigkeit des menschlichen Knochens ist viel geschrieben (Rauber; Knese; Messerer). Alle verwenden bei ihren Untersuchungen herausgeschnittene Knochensegmente. Wichtig ist aber, die Patella als „Ganzes" in der Prüfmaschine zu fixieren. Deswegen habe ich bei meinen Zerreiß- und Druckprüfungen nur frische, ganze Kniescheiben verwendet.

Von entscheidender Bedeutung ist die folgende Frage: „Wie spanne ich die Patella mit dem Bandapparat in die Prüfmaschine ein?"

Die für meine Untersuchungen ausreichende Zahl von 162 Kniescheiben (81 Paare) stammen aus dem Pathologischen Institut der Universität München. Diese 81 Paare verteilen sich auf 51 Paare von Männern und 30 Paare von Frauen (frisch Verstorbene in allen Altersstufen). Jeweils die rechte Kniescheibe mit Bandapparat und die linke ohne Bandapparat wird excidiert.

Für die Zerreißprüfung ist eine bestimmte Präparation erforderlich (Abb. 6 u. 7). In einem weiteren Arbeitsgang werden die Kniescheiben in Cellophanbeutel verschweißt. Die Beutel werden in einer Tiefkühlanlage verwahrt.

Für die Druckversuche wird die Patella jeweils von allen Weichteilen befreit und ebenfalls in Cellophanbeuteln tiefgekühlt verwahrt.

Die Untersuchungen erfolgten im Labor der Karl Frank GmbH in Mannheim, Rheinau. Die Prüfmaschine besitzt elektronische Kraftmeßeinrichtung und elektronische Dehnungsmeßeinrichtung (Abb. 8). Auch das Diagrammschreibgerät ist mit der Maschine elektronisch gekoppelt. Die Prüfgeschwindigkeit läßt sich stufenlos regeln, und die Maschine schaltet automatisch auf Null, wenn die Prüfung unterbrochen wird.

Abb. 6

Abb. 7

Abb. 6. Patella: dorsale Ansicht (eigene photographische Aufnahme)
Abb. 7. Patella: ventrale Ansicht (eigene photographische Aufnahme)

Abb. 8. Prüfmaschine der K. Frank GmbH (eigene Reproduktion aus einer Druckschrift d. o. a. Firma)

Wichtig ist die Einspannung bei den Zerreißprüfungen. Einbetten des Ligamentum patellae und der Quadricepssehne in Kunstharz erweist sich bald als undurchführbar, da es ein völlig trockenes Millieu voraussetzt. Nach zahlreichen Probeprüfungen erweist sich die genormte Klemmvorrichtung mit einem speziellen Spannbacken als absolut brauchbar. Der Spannbacken (Abb. 10) der Schraubenklemme (Abb. 9) ist gewellt (senkrecht zur Sehnenfaserrichtung) und greift mit seinem Antagonisten ineinander. Durch die Wellung wird eine Zerstörung

Abb. 9

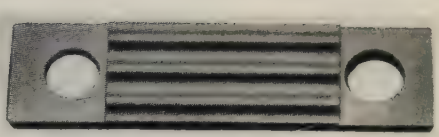

Abb. 10

Abb. 9. Schraubenklemme (eigene Reproduktion aus einer Druckschrift d. o. a. Firma)
Abb. 10. Spannbacken (eigene Reproduktion aus einer Druckschrift d. o. a. Firma)

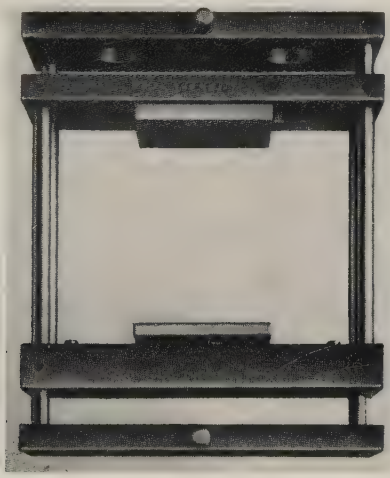

Abb. 11. Druckprüfvorrichtung (eigene Reproduktion aus einer Druckschrift d. o. a. Firma)

der Sehnenstruktur und das Auftreten von Klemmbrüchen (Abriß des zu prüfenden Materials an der Einspannvorrichtung) verhindert.

Bei den Druckversuchen genügt die Einklemmung zwischen zwei rauhe Druckpolplatten. (Abb. 11). Die aufgerauhten Flächen verhindern ein Wegrutschen der Patella.

Die Zerreißprüfungen

Die tiefgekühlten Kniescheiben werden am Tag vor der Prüfung aus der Tiefkühlbox entnommen. Dieser Zeitraum ist für das vollständige Auftauen ausreichend. Geprüft wird bei Raumtemperatur von ca. 25°C.

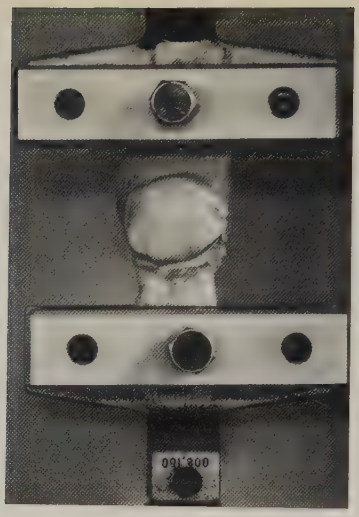

Abb. 12. Eingespannte Patella: Zerreißprüfung (eigene photographische Aufnahme)

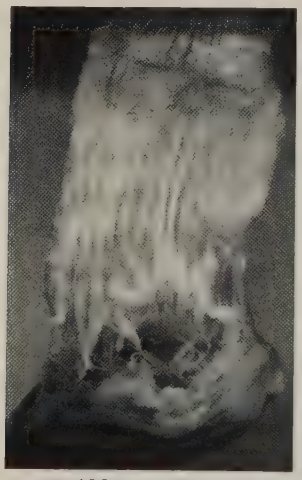

Abb. 13

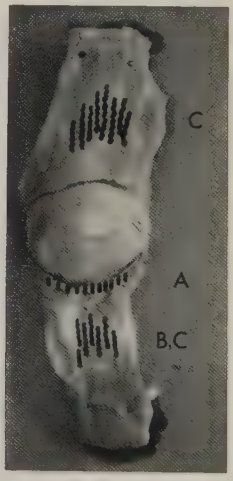

Abb. 14

Abb. 13. Echte Sehnenloslösung: dorsal (eigene photographische Aufnahme)
Abb. 14. Rißstellen: dorsal (schematisch eingezeichnet)

Zur Prüfung wird jeweils die Quadricepssehne zwischen die gewellten Spannbacken der oberen Klemme, das Ligamentum patellae zwischen die unteren eingebracht. Bei schnellem Anziehen der Klemme entsteht Feuchtigkeitsstau innerhalb der Klemmvorrichtung, wodurch die Sehnen abrutschen. Deshalb werden die Klemmen stufenweise gespannt. Dann sitzen die Sehnen fest in den Klemmbacken (Abb. 12). Bei allen Prüfungen bewegen sich die Spannbacken mit gleicher Geschwindigkeit auseinander (15 mm/min).

Man kann sich schlecht vorstellen, daß Querrupturen oder Abrißfrakturen allein durch divergent, also linear auseinander gerichtete Zugkräfte auftreten. Die Unter-

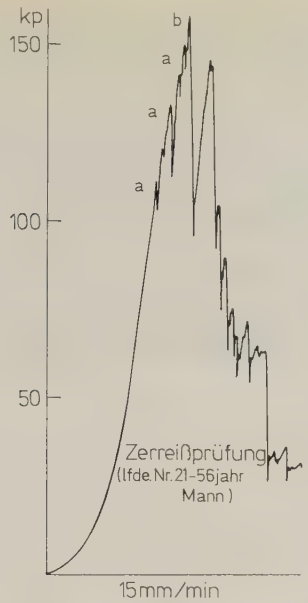

Abb. 15. Diagramm einer Zerreißprüfung (eigene Reproduktion des Originaldiagrammes)

suchungen bei 81 Kniescheiben zeigen bei *keiner* eine Querruptur oder irgendeine andere Knochenveränderung in Form eines Risses. Bei sämtlichen Kniescheiben zeigen sich zuerst feinste Sehnenfaserrisse. Im weiteren Verlauf lösen sich bei konstanter Zugerhöhung die Sehnenfasern voneinander und reißen bündelförmig. Dabei sind 3 verschiedene Vorgänge zu unterscheiden.

Vorgang A. Bei 64 von 81 geprüften Kniescheiben (79%) lösen sich als erstes die Sehnenfasern des Lig. patellae *faserig* an der Sehneninsertion. Eine echte Sehnenloslösung gibt es bei 7 Kniescheiben (Abb. 13).

Vorgang B. Bei 13 von 81 geprüften Kniescheiben (16%) zeigt sich ein aufgefaserter Riß in der Patellarsehnenmitte (Abb. 14).

Vorgang C. Die restlichen 4 Kniescheiben (5%) zeigen faserige Risse wie bei Vorgang B und in der Quadricepssehnenmitte (Abb. 14). Ein Riß der Quadricepssehne ist nicht eingetreten.

Feinste Sehnenfaserrisse sind an dem elektronisch aufgezeichneten Diagramm einwandfrei feststellbar (Abb. 15) in Form von kleinen Zacken (a). Abrisse größerer Sehnenfaserbündel zeigen sich in einer deutlichen Spitze (b) mit nachfolgendem, steilem Abfall der Kurve. Die für 81 bei Kontrollen ermittelten Werte sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Die Druckprüfung erfolgt mit ventraler Position in der Druckvorrichtung. Dadurch preßt sich der obere Teil der Druckvorrichtung auf den dorsalen Mittelfirst (Abb. 16), wodurch der übliche Unfallvorgang simuliert wird (punktförmige Auflage der Patella auf dem Condylus bei ca. 130° Beugung).

Auch der Druckversuch ist im Diagramm analysierbar. Zuerst gibt der Knorpel nach, daher zeigt sich eine kleine Stufe in der Kurve (a), nach kontinuierlichem Anstieg der Belastung erfolgt der Bruch der Kniescheibe, erkennbar an einer deut-

Abb. 16. Kniescheibe in der Druckvorrichtung (eigene photographische Aufnahme)

Tabelle 1. *Ermittelte Werte der Zerreißprüfungen*

Männer						Frauen		
Lfde Nr.	Alter	kp	Lfde Nr.	Alter	kp	Lfde Nr.	Alter	kp
1	12	123	31	61	154	1	10	194
2	18	122	32	61	232	2	14	130
3	24	171	33	62	93	3	17	145
4	25	75	34	62	181	4	28	151
5	39	232	35	63	152	5	35	199
6	41	132	36	63	110	6	35	111
7	43	161	37	63	175	7	38	102
8	44	162	38	63	155	8	43	143
9	45	173	39	64	117	9	45	122
10	47	135	40	65	172	10	46	104
11	48	163	41	65	125	11	48	132
12	49	131	42	65	217	12	48	198
13	49	150	43	66	153	13	49	152
14	50	157	44	67	198	14	49	191
15	50	167	45	68	180	15	54	115
16	53	99	46	69	103	16	55	203
17	53	335	47	70	138	17	57	192
18	53	241	48	70	138	18	58	140
19	55	200	49	71	248	19	59	95
20	55	169	50	72	277	20	61	142
21	56	159	51	74	90	21	64	120
22	57	92				22	65	131
23	57	182				23	68	169
24	58	140				24	68	112
25	58	169				25	69	151
26	58	72				26	69	138
27	58	128				27	70	153
28	58	180				28	74	163
29	60	170				29	75	113
30	60	148				30	76	74

Mittel = 160 kp (Männer), 143 kp (Frauen).

lichen Spitze (b) mit nachfolgendem starkem Abfall der Kurve (Abb. 17). Wie bei der Zerreißprüfung zeigen sich verschiedene Vorgänge im Prüfungsablauf.

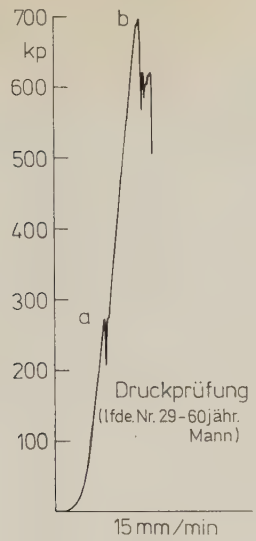

Abb. 17. Diagramm einer Druckprüfung (eigene Reproduktion des Originaldiagrammes)

Abb. 18

Abb. 19

Abb. 18. Bruchstellen (caudal-dorsal), eigene Skizze
Abb. 19. Bruchstellen (cranial-dorsal), eigene Skizze

Abb. 20

Abb. 21

Abb. 20. Bruchstellen (caudal-dorsal, cranial-dorsal), eigene Skizze
Abb. 21. Bruchstellen (cranial-caudaler Querbruch, dorsal), eigene Skizze

Vorgang A. 11 Kniescheiben (14%) brechen auf der caudal-dorsalen Seite ein (Abb. 18).

Vorgang B. 4 Kniescheiben (5%) brechen auf der cranial-dorsalen Seite ein (Abb. 19).

Tabelle 2. *Ermittelte Werte der Druckprüfungen*

Männer						Frauen		
Lfde Nr.	Alter	kp	Lfde Nr.	Alter	kp	Lfde Nr.	Alter	kp
1	12	339	31	61	572	1	10	elast.
2	18	192	32	62	758	2	14	738
3	24	648	33	62	740	3	17	510
4	25	480	34	63	992	4	28	736
5	39	658	35	63	573	5	35	635
6	41	702	36	63	580	6	35	610
7	43	722	37	63	175	7	38	295
8	44	992	38	64	821	8	43	702
9	45	882	39	65	500	9	45	568
10	47	752	40	65	710	10	46	925
11	48	692	41	65	768	11	48	536
12	49	476	42	65	432	12	48	804
13	49	641	43	66	468	13	49	732
14	50	720	44	67	651	14	49	496
15	53	788	45	68	545	15	54	538
16	53	808	46	69	728	16	55	998
17	53	840	47	70	664	17	57	502
18	55	654	48	71	590	18	58	757
19	55	735	49	72	425	19	59	591
20	56	302	50	74	308	20	61	464
21	57	565	51	81	858	21	64	181
22	57	514				22	65	432
23	58	578				23	68	305
24	58	578				24	68	435
25	58	510				25	69	290
26	58	782				26	69	561
27	58	702				27	70	900
28	60	590				28	74	525
29	60	696				29	75	442
30	61	492				30	76	761

Mittel = 625 kp (Männer), 566 kp (Frauen).

Vorgang C. 8 Kniescheiben (10%) brechen sowohl auf der caudal-dorsalen als auch auf der cranial-dorsalen Seite ein (Abb. 20).

Vorgang D. Bei 58 Kniescheiben (71%) erfolgt ein cranial-caudal verlaufender Querbruch (Abb. 21).

Die ermittelten Werte sind in Tabelle 2 zusammengestellt. Nach der Auswertung der Zerreißprüfung (Tabelle 1 u. Abb. 22) und der Druckprüfung (Tabelle 2 u. Abb. 23) läßt sich keinerlei Abhängigkeit von Alter und Geschlecht feststellen. Zwar ist das arithmetische Mittel der Zerreiß- und Druckwerte beim Mann größer als bei der Frau, doch spielt diese Tatsache bei der Gesamtbeurteilung keine Rolle. Die diffus durch alle Altersstufen bei Männern und Frauen verteilten Werte sprechen eindeutig gegen irgendeine Systematik. Dies verwundert nicht, da bei Gleichaltrigen die Patella der Frau manchmal doppelt so groß ist und umgekehrt. Das gleiche gilt auch für Sehnenquerschnitte, d. h. Dicke, Breite und Länge des Bandapparates. Auch die Kniescheiben junger und alter Probanden zeigen manchmal umgekehrte Größenverhältnisse. Konstitutionstyp und funktionsmechanische Be-

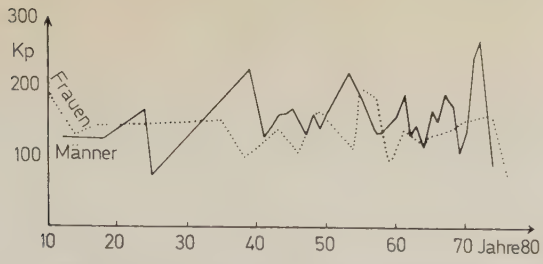

Abb. 22. Ergebnisse der Zerreißprüfung (eigenes Diagramm nach den ermittelten Werten der Tabelle 1)

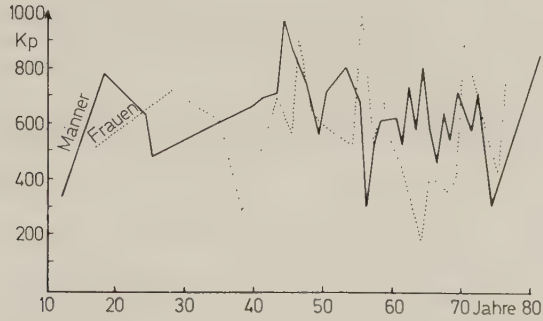

Abb. 23. Ergebnisse der Druckprüfung (eigenes Diagramm nach den ermittelten Werten der Tabelle 2)

anspruchung der Kniescheibe mit dem Bandapparat sind für die Zerreiß- und Druckfestigkeit ausschlaggebend.

Das gleiche gilt auch für die *Druckprüfungen* (Abb. 23 u. Tabelle 2). Hier zeigt die Zusammenstellung der Ergebnisse ebenfalls große Streuung der Werte. Eine gewisse Kontinuität ist insofern feststellbar, als die Kniescheiben bei größerem Lebensalter hörbar mit trockenerem und härterem Knall brechen.

Aktueller Stand der Literatur über die Stabilität der Patella

Experimentelle Arbeiten in Richtung meines Themas sind in der einschlägigen Literatur selten. So konnte ich bei Schneider folgendes nachlesen: „Burckhardt berechnete eine Druckbelastung der Kniescheibe bei einer Beugestellung von 120° von 950 kg. Groh gibt den Druck der Kniescheibe beim Aufrichten aus der Kniebeuge mit 20—40 Zentner an. Eingehende Untersuchungen stammen von Fürmaier. Bei Annahme eines Körpergewichts von 80 kg fand er bei einer Beugung von 90° einen Auflagedruck von 592 kg, bei einer Beugung von 45° von 1032 kg." Nach meinen Untersuchungen dürften die von Groh angegebenen Werte relativ zu hoch sein, während die von Fürmaier mit meinen ziemlich identisch sind. Wenn man bedenkt, daß bei meinen Druckversuchen die Kniescheibe immer auf dem Mittelfirst belastet wird, während sie bei Fürmaier satt aufliegt, ist der Wert von 1032 kg verständlich.

Literatur

Baumgartl, F.: Anatomische und klinische Bedeutung des Femoropatellargelenks. Zbl. Chir. **91**, 506, 507, 516 (1966).

Fürmaier, A.: Beitrag zur Mechanik der Patella und des Gesamtkniegelenks. Arch. orthop. Unfall-Chir. **46**, 78—90 (1953).

Gephard, W.: Über die funktionelle Knochengestalt. Verh. dtsch. Ges. Chir. **27**, 121—221 (1910).

Knese, K. H.: Knochenstruktur als Verbundbau. Versuch einer technischen Deutung der Materialstruktur des Knochens, S. 1—53, 2—3. Stuttgart: Thieme 1958.

— Biermann, Hahne: Festigkeitsuntersuchungen an menschlichen Extremitätenknochen. Jb. Morph. mikrosk. Anat. (1956).

Messerer, O.: Über die Elastizität und Festigkeit des menschlichen Knochens. Stuttgart: Cotta 1880.

Rauber, A.: Elastizität und Festigkeit des Knochens. Leipzig: Engelmann 1876.

Rubner, R.: Über Ursachen und Häufigkeit der Abrißfrakturen der Patella, des Olecranons und der Tubera maius humeri an der Chirurgischen Universitätsklinik zu München. Med. Diss., S. 3—4. München 1937.

Schneider, P. G.: Die Früharthrose im Femoropatellargelenk des Leistungssportlers. Ein Beitrag zur Pathogenese degenerativer Gelenkserkrankungen. Arch. orthop. Unfall-Chir. **54**, 403, 405 (1962).

Senst, W., Nowak, W.: Behandlungsergebnisse der Patellarfrakturen. Dtsch. Gesundh.-Wes. **23**, 433—441 (1968).

Triepel, H.: Die Architekturen der menschlichen Knochenspongiosa, S. 24. Wiesbaden: Bergmann 1922.

Wiberg, G.: Roentgenographic and anatomic studies on the femoropatellar joint. With specially reference to chondromalacia patellae. Acta orthop. scand. **12**, 420 (1941).

M. Fischer
D-8372 Zwiesel
Pfarrer Fürst-Straße 26

Herrn Priv. Doz. Dr. med. Georg Glogowski danke ich für die Überlassung des Themas und für seine stete Diskussionsbereitschaft. Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. med. Karl Viernstein für die Übernahme des Referats nach dem Tode des Herrn Priv. Doz. Dr. med. G. Glogowski.

Dem Pathologischen Institut der Universität München danke ich für die Überlassung des Untersuchungsmaterials.

Der Karl Frank G. m. b. H. Mannheim-Rheinau danke ich für die großzügige Bereitstellung eines Arbeitsplatzes an einer Materialprüfmaschine in ihrem Werkslabor.

Lebenslauf

Ich, Manfred Fischer, wurde am 27. 9. 1944 als drittes Kind des Dipl.-Ing. Gustav Fischer und der Margarethe, geb. Hendl in Aussig a. d. Elbe geboren.

Als Heimatvertriebener kam ich mit meinen Eltern im Jahre 1945 nach Bayern.
Ich besuchte die Volksschule und die Oberrealschule in Zwiesel; im Jahre 1965 habe ich das Abitur abgelegt.

Im Wintersemester 1965/66 begann ich an der Ludwig-Maximilians-Universität zu München mit dem Studium der Zahnmedizin und habe im März 1968 die zahnärztliche Vorprüfung abgelegt.

Nach dem 10. Semester habe ich im Juli 1970 mit dem Staatsexamen begonnen und es am 20. 1. 71 beendet.